

## **MOGUĆNOST PRIMJENE ROBOTA ZA ZAVARIVANJE U PROIZVODNJI BRODSKOG KORMILA**

### **POSSIBILITY TO APPLY A WELDING ROBOT IN THE SHIP'S RUDDER MANUFACTURING**

**Todor ERGIĆ<sup>1)</sup>, Milan KLJAJIN<sup>1)</sup>, Željko IVANDIĆ<sup>1)</sup>, Štefanića KLARIĆ<sup>2)</sup>, Ruža JUKIĆ<sup>3)</sup>**

**Ključne riječi:** Konstrukcija proizvoda, zavarivanje, robot, brodsko kormilo

**Key words:** Product design, welding, robot, ship's rudder

**Sažetak:** U ovom članku dana je kraća analiza mogućnost primjene robota za zavarivanje u proizvodnji brodskih kormila. Kao primjer je prikazano zavarivanje uške koja se postavlja na kormilo. Za prikazani tip kormila, kakva se proizvode u društву V.A.M.-ING d.o.o. iz Slavonskog Broda, napravljena je analiza konstrukcije. Predložena su moguća rješenja za primjenu robota i robotske linije pogodnih za zavarivanje kormila. Opisan je robot MOTOMAN HP 6 i način primjene pomoću prenosive upravljačke jedinice neophodne za rukovanje robotom. Također je opisan način programiranja robota u koracima. Uz program za zavarivanje određen je kemijski sastav osnovnog materijala od kojeg su izrađene pozicije uške. U članku su dane i linije zavara – putanja gibanja manipulatora, a WPS-om su definirani radni uvjeti i parametri kod zavarivanja.

**Abstract:** A short analysis of possibility to apply a welding robot in the ship's rudder manufacturing is given in this article. The welding of shackle which is placed on the rudder is shown as an example. The analysis of the structure is made for the shown type of rudder, which is produced in the company V.A.M.-ING Ltd. from Slavonski Brod. The proposed solutions are possible for the application of robots and robotic welding lines suitable for welding of rudders. The robot MOTOMAN HP 6 and the method of use by portable control unit necessary for the robot handling are described. It is also described step by step the programming of robot. The chemical composition of the base material, from which they have made the position of the shackle, is determined together with welding program. In the article are given the weld lines – the motion path of manipulator, and by WPS are defined operating conditions and parameters for welding.

---

<sup>1)</sup> Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Zavod za strojarske konstrukcije, Slavonski Brod, Hrvatska

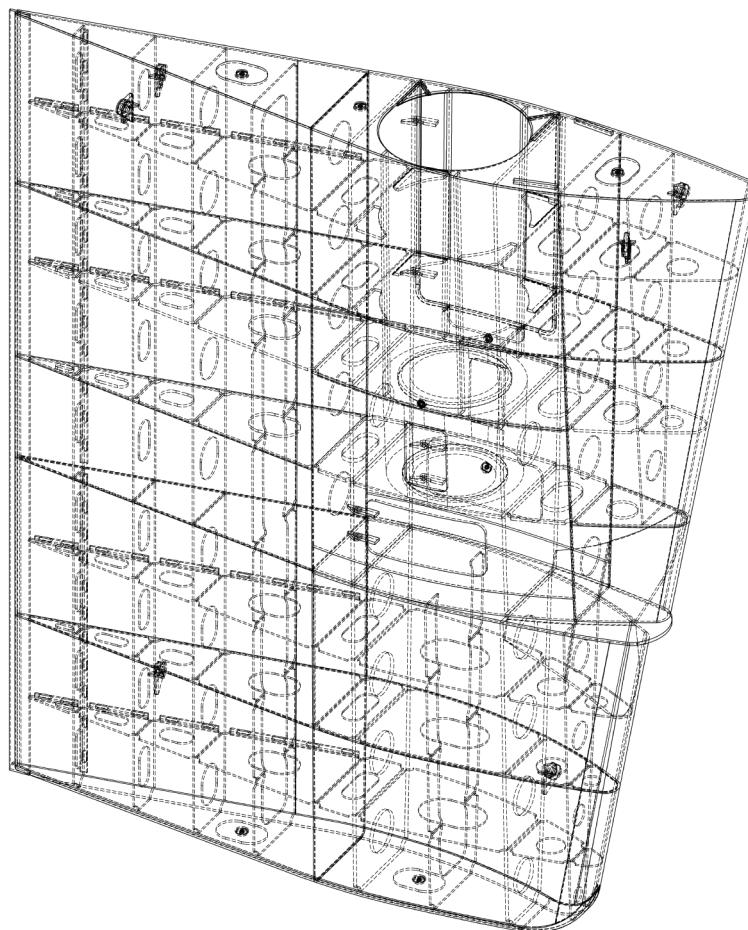
<sup>2)</sup> Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Zavod za proizvodno strojarstvo, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>3)</sup> V.A.M.-ING d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

## 1. UVOD

Proizvodni program većine tvornica u Holdingu "Đure Đakovića" uglavnom obuhvaća kabaste i teške proizvode u zavarenoj izvedbi, najčešće u pojedinačnoj ili maloserijskoj proizvodnji. Takva se proizvodnja na prvi pogled činiti neprikladnom za primjenu industrijskih robotova za zavarivanje. Međutim, stanje na tržištu dovelo je do toga da sve više proizvodnih subjekata, koji djeluju u okviru Holdinga "Đuro Đaković" usprkos gornjoj činjenici planira uvođenje industrijskih robota za zavarivanje u proizvodni proces.

Opravdani razlog za uvođenje robota u proizvodni proces proizlazi iz činjenice da su roboti za zavarivanje: neumorni, predvidljivi, precizni, pouzdani, fleksibilni, primjenjivi u svim neugodnim područjima rada, ujednačene kvalitete, štedljivi s materijalom i energijom itd. Očekivani rezultati primjene robota su efikasnija proizvodnja kroz: povećanje proizvodnosti, povećanje kvalitete i smanjenje postotka škarta. Za postizanje želenog uspjeha, potrebno je vrlo studiozno pristupiti uvođenju robota za zavarivanje [1, 2, 4].



Slika 1. Crtež brodskog kormila

Na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu instaliran je robot Motoman HP 6 s okretnim stolom i svom pratećom opremom za zavarivanje. Na ovom robotu se provodi edukacija studenata, a moguća je i obuka radnika/operatera za rad s robotom te testiranje i simulacija pojedinih postupaka pri zavarivanju s robotom.

Jedan od primjera teških i kabastih proizvoda u zavarenoj izvedbi su brodska kormila koja se proizvode u tvornici V.A.M.-ING d.o.o. Slavonski Brod. Uvjeti pri zavarivanju brodskih kormila vrlo su nepovoljni za zavarivača s obzirom na položaja u kojemu se zavaruje te malom radnom prostoru (npr. pri zavarivanju strukture kormila). Analiza uvodenja industrijskih robota napravit će se upravo za proizvodnju brodskih kormila u zavarenoj izvedbi.

Većina zahtjeva, koje je potrebno da zadovolji robot za zavarivanje tijekom primjene, proizlazi iz oblika konstrukcije proizvoda. Drugi dio zahtjeva proizlazi iz tehnologije izrade i vođenja proizvodnog procesa.

## 2. ANALIZA KONSTRUKCIJE BRODSKOG KORMILA

Konstrukcija brodskog kormila je vrlo složena i sastavljena je iz velikog broja elemenata [3]. Na slici 1 prikazano je izgled brodskog kormila. Iz konstrukcije je vidljivo da je u nekim slučajevima mjesto zavara nedostupno zavarivaču (npr. u pramčanom dijelu brodskog kormila slika 1) te bi se kvalitetniji zavar mogao ostvario pomoću robota za zavarivanje. U usporedbi sa zavarivačem robot pri zavarivanju zauzima optimalan položaj zavarivanja što je preduvjet stvaranja optimalnog zavarenog spoja npr. pri krivocrtnom zavarivanju.

Kao što je već gore rečeno, zahtjeve koje mora zadovoljiti robot prikladan za zavarivanje treba prvenstveno tražiti u obliku konstrukcijske izvedbe proizvoda. Tipove konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi moguće je svrstati u pet različiti skupina [2] (tablica 1).

Tablica 1. Pet skupina tipova konstrukcije proizvoda u zavarenoj izvedbi [2]

TIP KONSTRUKCIJE PROIZVODA				
K1: Ravninska	K2: Rotacijska	K3: Rešetkasta	K4: Kutijasta	K5: Prostorna

**Ravninska konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K1** (tablica 1). Prevladava sučelni tip zavara, linije zavarivanja su ravne, duge i neprekinute, proizvodi imaju relativno velik i srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja nepromjenljiva, mjesta zavarivanja su pristupačna, povoljan položaj zavara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, ne traži čestu preorientaciju proizvoda.

**Rotacijska konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K2** (tablica 1). Prevladava sučelni tip zavara, linije zavarivanja su rotacijske ili ravne, duge i neprekinute s mogućnošću pojednostavljenja postupka zavarivanja (okretaljke i druga pomoćna oprema), proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja nepromjenljiva, mjesta zavarivanja su pristupačna, povoljan položaj zavara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, ne traži čestu preorientaciju proizvoda.

**Rešetkasta konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K3** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavara, linije zavarivanja su ravne, kratke i isprekidane, velik broj istih zavara koji se ponavljaju po duljini i orijentaciji, proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje tijekom zavarivanja nepromjenljiva, pristup mjestu zavarivanja je otežan, nepovoljan položaj zavara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, zahtjeva čestu preorientaciju proizvoda.

**Kutijasta konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K4** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavara, linije zavarivanja su ravne i krivocrtne, relativno velik broj kratkih i isprekidanih zavara, proizvodi imaju relativno velik ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje je tijekom zavarivanja promjenljiva, pristup mjestu zavarivanja je otežan, nepovoljan položaj zavara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje, zahtjeva čestu preorientaciju proizvoda.

**Prostorna konstrukcija proizvoda u zavarenoj izvedbi K5** (tablica 1). Prevladava kutni tip zavara, linije zavarivanja su ravne i krivocrtne, proizvodi imaju relativno mali ili srednje velik gabarit i masu, orijentacija alata za zavarivanje tijekom zavarivanja je promjenljiva, pristup mjestu zavarivanja jednostavan, položaj zavara s obzirom na utjecaj gravitacije na zavarivanje je povoljan, traži čestu preorientaciju proizvoda. Ovakve se konstrukcije najčešće susreću u brodogradnji, a konstrukcija promatranog brodskog kormila je primjer prostorne konstrukcije (slika 1).

Za svaku od navedenih tipova konstrukcija potrebno je provesti daljnju analizu koja se odnosi na vrstu i debljinu materijala, mase elemenata, tipove zavara, duljine zavara i oblik linije zavarenog spoja. Zavarena konstrukcija brodskog kormila je specifična konstrukcija u brodogradnji [3], a analizira se prema sljedećim elementima:

<b>• Prema debljini pozicija</b>	
Pozicije debljine 20 mm	Pozicije vertikalne strukture u repu kormila Pozicije vertikalne strukture u pramčanom dijelu Pozicije horizontalne strukture u repu kormila Pozicije horizontalne strukture ispod razdjelne ploče loče
Pozicije debljine 25 mm	Pozicije oplate repa kormila Pozicije gornje i donje ploče
Pozicije debljine 30 mm	Pozicije oplate u pramčanom dijelu Pozicije horizontalne strukture u presjecima kojim se nalazi naba
Pozicije debljine 35 mm	Pozicije oplate u području nabe
Pozicije debljine 40 mm	Pozicije vertikalne strukture uz nabu
Pozicije debljine 50 mm	Pozicije horizontalne strukture koje nose nabu

Za svaku od navedenih tipova konstrukcija potrebno je provesti daljnju analizu koja se odnosi na vrstu i debljinu materijala, mase elemenata, tipove zavara, duljine zavara i oblik linije zavarenog spoja. Zavarena konstrukcija brodskog kormila je specifična konstrukcija u brodogradnji [3], a analizira se prema sljedećim elementima:

<b>• Prema debljini pozicija</b>	
Pozicije debljine 20 mm	Pozicije vertikalne strukture u repu kormila Pozicije vertikalne strukture u pramčanom dijelu Pozicije horizontalne strukture u repu kormila Pozicije horizontalne strukture ispod razdjelne ploče loče
Pozicije debljine 25 mm	Pozicije oplate repa kormila Pozicije gornje i donje ploče
Pozicije debljine 30 mm	Pozicije oplate u pramčanom dijelu Pozicije horizontalne strukture u presjecima kojim se nalazi naba
Pozicije debljine 35 mm	Pozicije oplate u području nabe
Pozicije debljine 40 mm	Pozicije vertikalne strukture uz nabu
Pozicije debljine 50 mm	Pozicije horizontalne strukture koje nose nabu

<b>• Prema dimenzijama pozicija</b>	
Dimenzije do $1100 \times 730$ mm	Pozicije horizontalne strukture u repu kormila
Dimenzije do $1700 \times 1250$ mm	Pozicije oplate u pramčanom dijelu
Dimenzije do $2000 \times 3000$ mm	Pozicije oplate kormila na repu i području nabe
Dimenzije do $1500 \times 9600$ mm	Pozicije vertikalne strukture

<b>• Prema masi pozicija</b>	
Do 300 kg	Pozicije horizontalne strukture
450 kg - 1000 kg	Pozicije horizontalne strukture kod nabe Gornja i donja ploča
1000 kg - 1500 kg	Pozicije oplate kormila
Od 1500 kg - 3500 kg	Pozicije vertikalne strukture

<b>• Prema linijama zavarivanja</b>	
Pravocrtnе linije	Zavar koji spaja pozicije vertikalnu i horizontalnu strukturu Zavar koji spaja pozicije vertikalne strukture s oplatom
Kružne linije	Zavar nabe s pozicijama horizontalne strukture Zavar prirubnica na poklopциma
Krivocrtne linije	Zavar koji spaja horizontalnu strukturu s oplatom Zavar oplate kormila Zavar gornje i donje ploče za oplatu
Prostorne linije	Zavar donje ploče s 1/4 cijevi u pramčanom dijelu ("peta") Zavar 1/4 cijevi sa oplatom kormila u pramčanom dijelu ("peta")

• Prema vrsti zavara		
<p>Kutni zavar  - kod zavarivanju strukture i oplate  - u području nabe <math>a = 0,44 \cdot t_1</math>  - u repu kormila <math>a = 0,25 \cdot t_1</math></p>	V zavar – zavar oplate kormila	Zavar repa kormila

### 3. TEHNOLOGIJA IZRADE BRODSKOG KORMILA

Zavarivanje se provodi prema WPS (Welding Procedure Specification) obrascu gdje su definirani svi parametri zavarivanja. Naba – ležište osovine najopterećeniji je dio kormila. Naba je otkivak, izrađena od materijala St 52.3. Kod zavarivanja nabe i pripadajućih pozicija potrebno je predgrijavanje nabe u području koje se zavaruje i pozicija na temperaturu 130 °C. Pri ugradnji podsklopa nabe u kormilo potrebno je predgrijati pozicije strukture prije zavarivanja. Navedene zavare potrebno je ispitati ultrazvukom.



Slika 2. Podsklop nabe



Slika 3. Kolijevka za montažu kormila



Slika 4. Unutarnja struktura kormila



Slika 5. Montaža i zavarivanje 3D koljena



Slika 6. Ugrađeni podsklop nabe u kormilo



Slika 7. Postavljanje oplate na kolijevku

Zvari oplate brodskog kormila u području nabe i razdjelne ploče te zvari deflektora s oplatom ispituju se penetrantima. Po završetku izrade vrši se ispitivanje nepropusnosti tlačenjem zraka do 0,03 MPa. Za tu svrhu postoje otvori na dnu kormila za pražnjenje i na vrhu za odušivanje. Nakon ispitivanja tlačenjem, unutrašnjost kormila se konzervira bitumastikom i zatvori. Za rukovanje kormilom pri izradi i remontu, postavljaju se stalne uške ili otvori za hvatišta užadi dizalica.

Redoslijed zavarivanja pozicija brodskog kormila je sljedeći: zavarivanje nabe s pozicijama u podsklop (slika 2), zavarivanje donje oplate za kolijevku (slika 3), zavarivanje unutarnje strukture kormila (slika 4), montaža i zavarivanje 3D koljena (slika 5), ugradnja i zavarivanje podsklopa nabe u kormilo (slika 6), postavljanje oplate na kormilo (slika 7), zavarivanje gornje i donje ploče, zavarivanje gornje oplate kormila (slika 8), zavarivanje donje oplate kormila te montaža i zavarivanje deflektora.



Slika 8. Zavarivanje oplate kormila



Slika 9. Sekcija kormila

#### 4. ROBOTI PRIMJENJIVI KOD ZAVARIVANJU KORMILA

Roboti koji se primjenjuju u brodogradnji pogodni su i za zavarivanje brodskog kormila. Tipovi robota koji su najčešće u primjeni u brodogradnji su: portalni roboti, prenosivi roboti i robotizirane proizvodne linije.

**Portalni roboti.** Kod ove izvedbe robot se nalazi iznad montiranog proizvoda. Portalni roboti pogodni su za zavarivanje vertikalnih zavara, ali se koriste i za horizontalne zavare. Osnovne značajke ovog tipa robota su: na istom portalu nalazi se više robotskih glava, mogućnost zavarivanja sačastih struktura različitih dimenzija, uporaba MAG sustava zavarivanja koje omogućava zavarivanje u svim položajima, opremljen je senzorima kojima se uočava svaki poremećaj pa se sustav automatski zaustavlja.

**Prenosivi roboti.** Prenosivi roboti su roboti ukupne mase oko 25-250 kg. Prenosiv je unutar izradka. Ovi roboti posebno su pogodni za izvođenje horizontalnih zavara u skućenim prostorima. Računalna podrška i okolna oprema omogućuju da jedan radnik/operater može istovremeno organizirati rad više ovakvih robota. Ovi roboti mogu obavljati relativno veliki broj jednostavnih specifičnih operacija zavarivanja. Osnovne značajke ovog tipa robota su: mala masa koja omogućava lako rukovanje, pouzdanost rada u uvjetima koji su karakteristični za brodograđevnu proizvodnju, lako održavanje i servisiranje, mogućnost programiranja unaprijed te opremljenost senzorima.

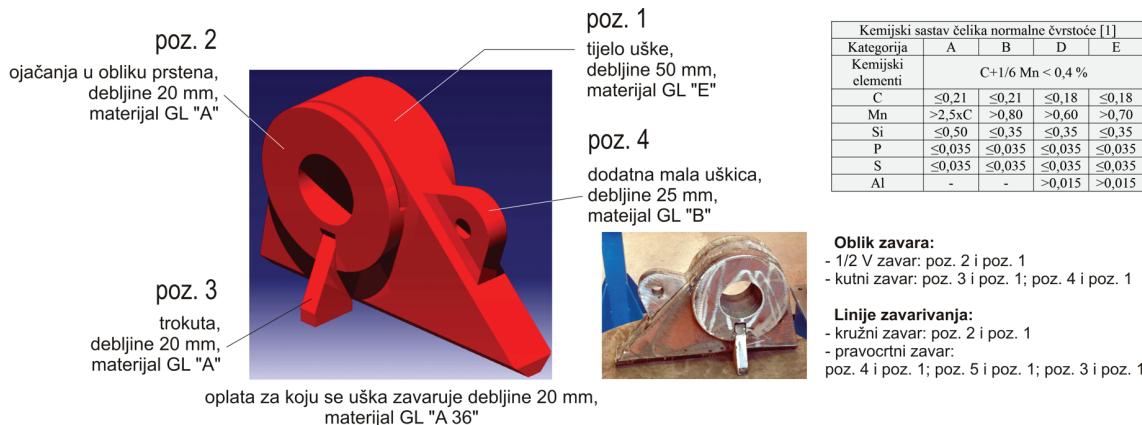
**Robotizirana proizvodna linija.** Sastoje se od robota za zavarivanje koji je montiran na okretnom gentriju [5]. Robotom se upravlja preko upravljačkog pulta uz pomoć programske baze podataka. Radna površina za zavarivanje je fiksni čelični pod koji služi za pričvršćivanje radnih komada. Radna površina se dijeli na dio na kojem se vrši priprema i montiranje sklopova i podsklopova dok istovremeno na drugom dijelu radne površine robot zavariva pripremljeni sklop ili podsklop. Programiranje robota moguće je preko ON-line ili OFF-line. Kod ON- line

programiranja programer u konstrukcijskom odjelu koristeći podršku računalnog programa definira elemente i parametre zavarivanja te ih pohranjuje u centralnu robotsku jedinicu. Operater na liniji započinje sa procesom robotskog zavarivanja unošenjem početne točke elementa strukture koji se planira zavariti. Kod OFF-line programiranja operater na liniji ima mogućnost da sam definira elemente i parametre zavarivanja preko vlastitog robotskog softwarea.

U dalnjem razmatranju analizirat će se samo prenosivi robot Motoman HP 6, kao mogućnost primjene kod konkretnog problema. Inače, tvrtka MOTOMAN® je najveći proizvođač industrijskih robota na svijetu s preko 120.000 instaliranih robota [2]. Posebice za zavarivanje električnim lukom MOTOMAN® je jedina tvrtka koja proizvodi robotske sustave sa specijalnim rješenjem manipulatora i vodovima koji prolaze kroz os ruke i zglobo te tvrtka koja je razvila robote prilagođen elektrolučnom zavarivanju upravo za tipove zavarenih konstrukcija prikazane u tablici 1. Tehnološka prednost ovih robota u usporedbi s drugim komercijalnim rješenjima ogleda se u najvećoj mogućoj učinkovitosti i produktivnosti (odносно profitabilnosti).

## 5. PRIMJER ZAVARIVANJA UŠKE NA BRODSKOM KORMILU POMOĆU ROBOTA MOTOMAN HP 6

Robotom Motoman HP 6 zavarena je uška prikazana na slici 10. Uška se postavlja na sekcije kormila i služe za podizanje i prenošenje kormila u fazi izrade i pri montaži kormila na brod. Pomoću škopaca koji se umeću u ušku i čelične užadi dizalicom se podiže i manipulira sekcijom kormila. Mase sekcije kormila su i do 50 t, na sekciju se postavljaju četiri uške, što znači da je potrebna nosivost svake uške cca 12,5 t. Nosivost uške, sigurnost pri manipulaciji kormilom ovisi o kvaliteti zavara na mjestu gdje se uška zavaruje na opлатu kormila.



Slika 10. Uška brodskog kormila

Pomoću robota Motoman HP 6 programom NX 100 izrađen je program za zavarivanje uške, 1/2V zavar pozicije 2 s pozicijom 1. Program je izrađen na prenosivoj upravljačkoj jedinici prikazanoj na slici 11. Programom je zadana brzina i putanju gibanja robota.

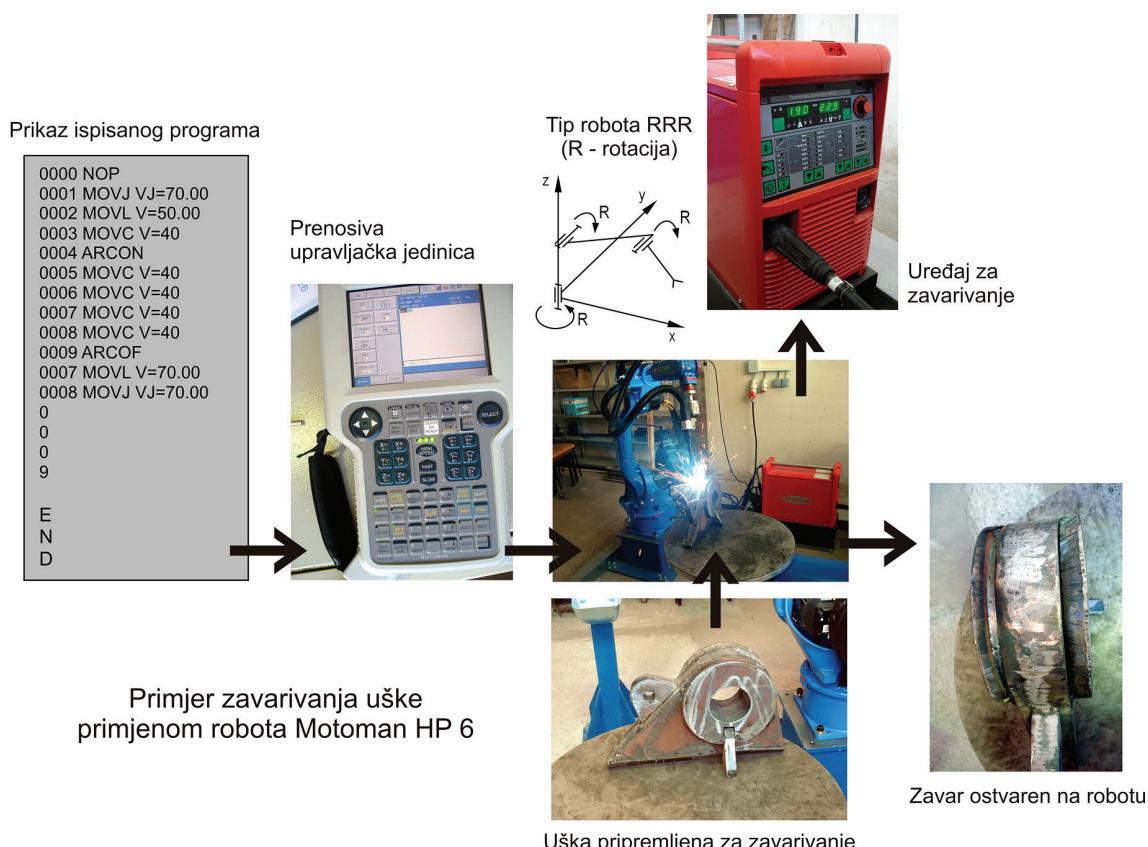
Koordinatni sustav je postavljen u vrh alata. Na prenosivoj upravljačkoj jedinici moguć je odabir tipa programa, program pisan samo za manipulaciju robota, sinkrono gibanje robota i radnog stola ili gibanje radnog stola dok robot miruje. Na taj je način omogućeno zavarivanje u optimalnom položaju. Na slici 11 prikazan je i program za zavarivanje 1/2V zavara u kojem je zadano gibanje robota dok radni stol miruje. Pritisom na tipke gibanja manipulatora po osima, vrh alata dovođen je u točke kojima se definira putanja gibanja alata. Putanja zavarivanja je

kružna (naredba MOVC).

Na temelju kemijskog sastava čelika te zahtijevanih mehaničkih svojstava zavara, odabrana je žica za zavarivanje BÖHLER DMO-1G. U tehnološkoj uputi i WPS V 004-2 definirani su parametri za zavarivanje. Odredena brzina zavarivanja odnosno gibanja vrha alata je 40 cm/min. Protok zaštitnog plina Ar/CO<sub>2</sub> je 15-20 l/min.

U slučaju zavarivanja iz više prolaza, nije potrebno pisanje novog programa, već na ispisanim programima zadati pomak potreban za zavarivanje narednih prolaza.

Na slici 11 prikazano je zavarivanje uške pomoću robota prema napisanom programu te izrađeni zavar pomoću robota. Zavaren je samo prvi prolaz. Vizualni izgled zavara zadovoljava kvalitetom.



Slika 11. Primjer zavarivanja uške brodskog kormila pomoću robota za zavarivanje Motoman HP6

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je provjeriti mogućnost uvođenja robota za zavarivanje pri izradi brodskog kormila. Prikazano je zavarivanje uške koja se postavlja na brodsko kormilo uz pomoć robota. Za prikazani tip kormila kakva se proizvode u društву V.A.M.-ING d.o.o. iz Slavonskog Broda napravljena je analiza konstrukcije. Opisana je mogućnost primjene robota Motoman HP 6 s prenosivom upravljačkom jedinicom neophodnom za rukovanje robotom. Prema iznesenim činjenicama može se zaključiti da je moguća robotizacija zavarivanja brodskog kormila, kako unutarnje strukture tako i oplate kormila. Zbog dimenzija kormila roboti pogodni za zavarivanje su portalni roboti ili robotski gentri. U slučaju primjene robota za zavarivanje potrebna je kvalitetnija priprema skošenja za zavar. Primjena robota pri izradi kormila prouzročila bi

promjenu tehnologije izrade i poskupljenje izrade. Očekivani pozitivni efekti su kvalitetniji zavar, smanjenje grešaka u zavaru, ušteda energije i dodatnog materijala za zavarivanje.

## 7. LITERATURA

- [1] Ergić, T. Prepostavke za uvođenje industrijskih robota u proizvodne procese, Stručni časopis br. 2/87
- [2] Kljajin, M.; Ergić, T.; Ivandić, Ž.; Karakašić, M.; Katalenić, Z. Praktično rješenje robota za zavarivanje prikladno za različite konstrukcije proizvoda, Zbornik radova - 4. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje "Tehnološka primjena postupaka zavarivanja i zavarivanju srodnih tehnika u izradi zavarenih konstrukcija i proizvoda"/urednik I. Samardžić, Slavonski Brod, 14.-16. studeni 2007., Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2007., str. 147-156.
- [3] Kolman, Ž. Konstrukcija broda 2, <http://www.fsb.hr/kziba/shipconstruction/> (pristup 20.01.2009.)
- [4] Ergić, T. Repetitorij – Temeljnih pojmove i robotike i zavarivanja pomoću robota, Strojarski fakultet Slavonski Brod, 1995.
- [5] Čagalj, A.; Čulić, M. Proizvodne linije sklopova i podsklopova, <http://www.fsb.hr/sorta2004/> (pristup 01.09.2009.)